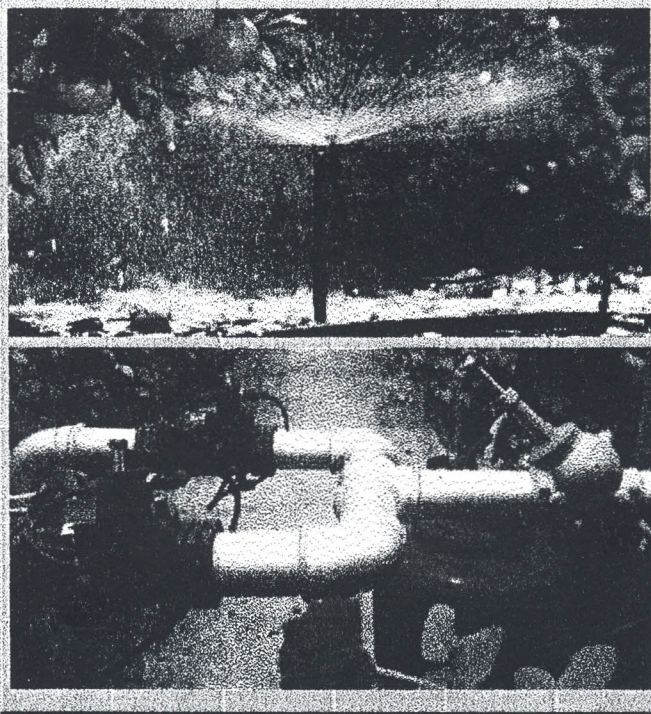


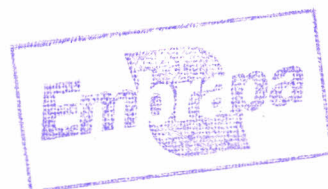


II CURSO DE FERTIRRIGAÇÃO



Período: 21 a 23 Agosto 2000
Petrolina - PE

Aplicação de Fertilizantes via Fertilirrigação
Davi José Silva (Embrapa Semi-Árido)



APOIO:



Universidade Federal
da Paraíba - UFPB
Areia - PB

APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES VIA FERTIRRIGAÇÃO

Davi José Silva¹

1. Fertirrigação e Nutrição de Plantas

As plantas absorvem a água e os nutrientes minerais que formam a solução do solo, através das suas raízes que após serem incorporados no seu interior participam dos processos fisiológicos. O movimento de água e de nutrientes do solo para as raízes é produzido em resposta a uma série de gradientes de potencial que estão relacionados, fazendo com que haja um equilíbrio de energia. A água e os nutrientes se movimentam no sentido de um ponto de maior potencial para um de menor potencial. No interior da planta, o movimento se faz também em função da força de coesão e da tensão entre moléculas (Winter, 1979).

A transferência de água e de nutrientes do solo para as raízes dá-se através dos pêlos radiculares, através de tecidos que se encontram nas células da parte inicial (ponta) das raízes. A tensão osmótica no interior das células das raízes sobressaem a pressão no interior do solo e dessa forma, a solução tendem a entrar para seu interior. O movimento de entrada natural da solução para as raízes em resposta a demanda da água pela transpiração das plantas esgota a água do solo situado junto as raízes. Havendo uma diminuição do potencial hidráulico do solo para estabelecer um estado menos energético, inicia-se o fluxo da água existente mais distante do solo para a proximidade das raízes e o processo continua até que exista água suficiente para atender o processo metabólico vital das plantas.

Os processos de transporte de nutrientes até a superfície das raízes - fluxo de massa e difusão - são dependentes da disponibilidade de água do solo. Assim, para que haja um suprimento de nutrientes adequado ao crescimento e desenvolvimento das plantas é necessário que exista água disponível.

Neste contexto, a fertirrigação tem um papel fundamental. Enquanto na aplicação convencional de fertilizantes as plantas recebem uma grande dosagem de fertilizante que será necessária durante um determinado estágio, na fertirrigação a aplicação de fertilizantes adequada às necessidades hídricas da cultura, permitirá que as plantas possam receber pequenas quantidades de fertilizantes no início do ciclo de desenvolvimento, em uma fase praticamente vegetativa, e essa dosagem pode ser aumentada com o avançar do ciclo da planta e com o aparecimento dos frutos.

2. Solubilidade dos Fertilizantes

Os fertilizantes podem ser classificados de acordo com diversos critérios. Quando refere-se ao uso em irrigação classificam-se em: a) fertilizantes "líquidos": abastecidos nos tanques na forma de solução, sem necessidade de tratamento prévio; b) fertilizantes sólidos facilmente solúveis: devem dissolver-se facilmente antes do início da fertirrigação.

Para se alcançar êxito na fertirrigação deve-se utilizar fontes de alta solubilidade para que, a concentração de nutrientes na solução aplicada seja, de fato, aquela calculada. Outro aspecto importante da solubilidade é que alguns fertilizantes que não apresentam dissolução completa podem causar entupimento nos emissores, principalmente dos gotejadores.

¹ Engº Agrº, D. Sc., Pesquisador da Embrapa Semi-Árido, Cx. Postal 23, 56.300-970 Petrolina-PE.
e-mail: davi@cpatsa.embrapa.br

Na prática, a solução aplicada pela fertirrigação é misturada em tanques de capacidade variada e, posteriormente, essa solução é injetada no ramal principal através de vários equipamentos, onde é diluída. Por isso, a concentração no reservatório pode chegar a ser 200 vezes maior que a solução que sai nos emissores. No preparo da solução deve-se observar a solubilidade de cada fertilizante a fim de que todo fertilizante dissolvido permaneça na solução.

Na tabela 1 são apresentadas as solubilidades de vários fertilizantes a temperatura de 20°C. Quando a temperatura da água estiver abaixo da apresentada na tabela, menor quantidade de fertilizante será solubilizada. Por isso, principalmente no inverno, é necessário avaliar a temperatura da água antes de se proceder a solubilização dos fertilizantes, pois, frequentemente se opera à temperatura da água inferior a 20°C. A própria mistura de fertilizantes pode promover o abaixamento da temperatura da água, em função das reações de dissolução absorverem calor. É o que ocorre quando fertilizantes nitrogenados são solubilizados. O nitrato de amônio (33,5% N) aplicado numa concentração de 10g L⁻¹ promove abaixamento de 2°C na temperatura da solução, porém numa concentração de 100g L⁻¹ a temperatura diminui de 7,2°C.

Em casos de fertilizantes de baixa solubilidade, como ocorre para o bórax, pode-se fazer inicialmente o aquecimento da água para solubilizar e, posteriormente, proceder à mistura com os demais fertilizantes.

Assim como a temperatura, a pureza do fertilizante pode interferir na sua solubilidade. Como a solubilidade normalmente é determinada a partir de produtos puros (p.a.), deve-se considerar que os valores tabelados são máximos e podem ser aplicados apenas a fertilizantes com alto grau de pureza. Para fertilizantes comerciais o limite de solubilidade normalmente é mais baixo.

Deve-se, também, estar atento a fertilizantes que apresentem: a) condicionadores (usados para prevenir a quebra dos grânulos), b) substâncias como óleo ou parafina, que revestem os fertilizantes que têm problemas de higroscopicidade, c) argilas presentes nos adubos fluidos para manter o potássio em suspensão, d) outras impurezas, como óxido de ferro, presentes no cloreto de potássio vermelho, etc. Fertilizantes com estas características devem ser evitados em fertirrigação.

Em termos de características físicas dos fertilizantes sólidos para uso em fertirrigação deve-se dar preferência aqueles que se apresentam na forma de cristais, que em função do tamanho de grânulo reduzido, solubilizam-se mais facilmente em relação aos granulados.

3. Compatibilidade dos Fertilizantes

A compatibilidade entre os adubos e destes com os íons presentes na água de irrigação é outro fator de suma importância. No preparo das soluções muitas vezes é necessário misturar mais de uma fonte. Nesse caso, deve-se recorrer aos quadros de compatibilidade como o da Figura 1, afim de certificar se a mistura pode ou não ser realizada.

Como regra geral, o íon sulfato é incompatível com cálcio, e os fosfatos, com cálcio e magnésio. Do mesmo modo, águas ricas em cálcio e magnésio podem formar compostos insolúveis com fósforo e sulfato. A aplicação de fertilizantes incompatíveis (por exemplo, Ca(NO₃)₂, K₂SO₄) devem ser feitas a partir de tanques independentes ou aplicados em momentos diferentes, de modo que não haja contato entre as soluções concentradas desses fertilizantes. Sempre que forem feitas misturas de fertilizantes diferentes dos utilizados

convencionalmente, deve-se fazer o “teste da jarra”, que consiste em se misturar os fertilizantes em uma jarra na mesma proporção que será utilizada no reservatório, esperando por duas horas após a mistura. Se não ocorrer a formação de precipitado a mistura poderá ser feita sem problemas.

TABELA 1. Solubilidade a 20°C de alguns fertilizantes⁽¹⁾

FERTILIZANTE	SOLUBILIDADE⁽²⁾
NITROGENADOS (N)	
Nitrato de Amônio	118
Nitrato de Cálcio	102
Sulfato de Amônio	71
Uréia	78
Nitrato de Sódio	73
Soluções Nitrogenadas	ALTA
Uran	ALTA
FOSFATADOS (P)	
Superfosfato Simples	2
Superfosfato Triplo	4
Ácido fosfórico	45,7
POTÁSSICOS (K)	
Cloreto de Potássio	34
Sulfato de Potássio	11
N e P	
MAP	23
MAP Purificado	37
DAP	40
N e K	
Nitrato de Potássio	32
CONTENDO Ca e Mg	
Cloreto de Cálcio pentahidratado	67
Sulfato de Magnésio	71
Gesso	0,241
CONTENDO MICRONUTRIENTES	
Bórax	5
Sulfato de Cobre	22
Sulfato de Cobre Pentahidratado	24
Sulfato de Ferro	24
Sulfato Ferroso	33
Sulfato de Manganês	105
Sulfato de Zinco	75
Quelatos (Fe, Cu, Mn e Zn) EDTA, DTPA	ALTA

(1) Fonte: VITTI et al., 1994.

(2) Partes solubilizadas em 100 partes de água a 20°C.

	Uréia	Nitrato de amônio	Sulfato de Amônio	Nitrato de cálcio	Nitrato de potássio	Cloreto de potássio	Sulfato de potássio	Fosfato de amônio	Fe, Zn, Cu e Mn quelato	Fe, Zn, Cu e Mn sulfato	Sulfato de magnésio	Ácido fosfórico	Ácido sulfúrico	Ácido nítrico
Uréia														
Nitrato de amônio														
Sulfato de Amônio														
Nitrato de cálcio														
Nitrato de potássio														
Cloreto de potássio														
Sulfato de potássio														
Fosfato de amônio														
Fe, Zn, Cu e Mn sulfato														
Fe, Zn, Cu e Mn quelato														
Sulfato de magnésio														
Ácido fosfórico														
Ácido sulfúrico														
Ácido nítrico														

Incompatível
 Solubilidade Reduzida
 Compatível

Figura 1. Solubilidade de misturas de fertilizantes líquidos (algumas formulações são incompatíveis em concentrações na solução estoque, devendo ser evitadas). (Fonte: LANDIS et al. 1989)

4. Efeito do Fertilizante no pH da Solução e no pH do Solo

Os fertilizantes após serem dissolvidos poderão alterar o pH da solução nos tanques. Esse efeito ocorre em função da reação do íon com a água ou ainda devido a presença de ácidos do processo de fabricação de fertilizantes.

Poderão ocorrer mudanças nas propriedades física e química do solo dependendo dos produtos utilizados, principalmente com a mudança no pH do solo. As mudanças no pH do solo ocorrem normalmente com redução (acidificação), devido ao aumento de íons de hidrogênio (H^+), pela oxidação feita por bactérias no NH_4^+ das fontes nitrogenadas, seguindo a reação:



Na irrigação por gotejamento, os problemas de redução no pH ocorrem normalmente em pontos localizados no perfil do solo, logo abaixo dos emissores e ao lado das linhas laterais, o que dificulta os trabalhos corretivos, a não ser com emprego de ácidos ou bases também pelo sistema de irrigação para elevar ou reduzir o nível de acidez, respectivamente.

Outro fator que afeta o pH do solo na interface solo-raiz é a razão $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ da solução fertirrigada. Quando o NH_4^+ predomina, H^+ é excretado da raiz e acidifica a solução do solo. Quando NO_3^- é o íon mais absorvido, o OH^- ou HCO_3^- são liberados para a solução do solo e o pH do solo aumenta. Portanto, as diferentes relações $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ apresentaram efeitos diferentes sobre o desenvolvimento das raízes.

5. Salinidade e Potencial Salino dos Fertilizantes

A salinidade do solo se refere ao conteúdo de sais solúveis na solução do solo. Os sais mais comuns são os cloretos, sulfatos, bicarbonatos, nitratos e boratos de sódio, magnésio e cálcio.

A intemperização das rochas através do tempo e a aplicação de fertilizantes e água, dão origem aos sais solúveis no solo. Em regiões chuvosas, a maioria dos sais são lixiviados, enquanto que em regiões áridas os níveis de sais são elevados.

A água de irrigação pode ser uma fonte de sais que, se manejada de forma inadequada, poderá produzir efeito salino no solo. Portanto, é recomendável que antes de se iniciar um projeto de irrigação a água a ser utilizada seja analisada.

5.1. Potencial Salino dos Fertilizantes

Alguns problemas de salinidade são naturalmente criados pelo manejo inadequado de fertilizantes que inclui a quantidade aplicada e a escolha dos fertilizantes em relação às suas características de salinidade. Na tabela 2 são apresentados os índices salinos dos fertilizantes de uso mais comum na agricultura. O valor do índice salino é dado de forma relativa, onde se atribuiu o índice 100 ao fertilizante nitrato de sódio (NaNO_3) sendo que os demais fertilizantes são comparados em relação a ele. No entanto, os fertilizantes apresentam concentrações diferentes de nutrientes, e mais importante que o índice salino do adubo (índice global), é considerar o índice salino por unidade de nutriente (índice parcial). Por exemplo, o cloreto de potássio (60% K_2O) apresenta índice parcial de 1,94 por unidade de K_2O , enquanto que para o nitrato de potássio esse índice é de 1,59 e para o sulfato de potássio o valor é de 0,85.

Na tabela 3 são apresentadas as condutividades elétricas (CE) das soluções contendo 1 grama de vários fertilizantes simples e também algumas misturas de fertilizantes comerciais. A uréia apresenta o valor mais baixo de CE, uma vez que é um composto orgânico e em água apenas sofre hidratação, necessitando de uma enzima, a urease, para sua hidrólise.

O potencial salino é tanto maior quanto mais seco estiver o solo e, uma das formas de minimizar o problema é manter o solo úmido o maior tempo possível. Por isso, em casos em que a salinidade pode ser considerada problema, deve-se adotar irrigação com menores volumes de água por aplicação, no entanto, com irrigações mais frequentes.

5.1. Efeito da Qualidade da Água e da Salinidade nas Plantas

À medida que os sais se acumulam no solo, maior dificuldade apresentam as raízes em absorver água. Essa dificuldade significa que as raízes irão requerer maior energia para absorver a água, energia esta desviada de processos metabólicos essenciais. A título de exemplo, para se ter uma idéia, uma condutividade elétrica de 3 dS/m representa uma força de retenção de água de 0,1 MPa.

A qualidade da água de irrigação constitui um dos fatores mais importante na fertirrigação e o sucesso ou insucessos observados em áreas que utilizam a irrigação dá-se devido a contaminação do solo devida à salinização. Como os produtos utilizados na fertirrigação possuem naturalmente compostos salinos é de se esperar que caso não sejam observados os teores naturais desses sais nos produtos, com o uso prolongado da água, poderá contribuir para o acúmulo de sais no solo.

Existem três métodos comuns para descrever a quantidade de sal na amostra de água: a) Condutividade elétrica, b) Parte por milhão (ppm) e Milequivalente por litro (meq/L).

TABELA 2. Índice de salinidade de alguns adubos (LORENZ & MAYNARD, 1988)

Adubos	Índice global	Índice parcial
Adubos nitrogenados		
Nitrato de amônio (35,0%)	104,7	2,99
Sulfato de amônio (21,2%)	69,0	3,25
Nitrato de cálcio (11,9)	52,5	4,41
Cianamida cálcica (2 1,0%)	31,0	1,48
Nitrato de sódio (13,8%)	73,6	5,34
Nitrato de sódio (16,5%)	100,0	6,06
Fosfato monoamônico (1 2,2%)	29,9	2,45
Fosfato diamônico (21,2%)	34,3	1,61
Uréia (46,6%)	75, 4	1,62
Adubos fosfatados		
Fosfato monoamônico (61,7%)	29,9	0,49
Fosfato diamônico (53,8%)	34,3	0,64
Superfosfato simples (16,0%)	7,8	0,49
Superfosfato simples (18,0%)	7,8	0,43
Superfosfato simples (20,0%)	7,8	0,39
Superfosfato triplo (45,0%)	10,1	0,22
Adubos potássicos		
Cloreto de potássio (60,0%)	116,3	1,94
Nitrato de potássio (44,0%)	73,6	1,58
Sulfato de potássio (54,0%)	46,1	0,85
Sulfato de potássio + Mg (21,9%)	43,2	1,97
Outros		
Carbonato de cálcio (56,6%)	4,7	0,083
Calcário dolomítico (19,0%)	0,8	0,042
Gesso (32,6%)	8,1	0,247

TABELA 3. Potencial salino de alguns produtos usados em fertirrigação

Produto	Concentração (g/l)	Condutividade (dS/m)
Nitrato de amônio	1	0,9
Uréia	1	0,07
Sulfato de amônio	1	2,10
Uran	1	1,1
Ácido fosfórico	1	1,70
Nitrato de potássio	1	1,30
Sulfato de potássio	1	1,40
MAP	1	0,8
Kristalon ⁽¹⁾ 3-40-13	1	1,0
Kristalon 19-06-20	1	1,4
Kristalon 15-05-30	1	1,3
Kristalon 18-08-18	1	1,3
Plant-Prod ⁽²⁾ 15-00-15	1	1,3
Plant-Prod 10-52-10	1	0,75
Plant-Prod 08-20-30	1,25	1,25
Plant-Prod 11-41-08	0,91	0,9
Plant-Prod 12-00-44	0,83	1,1
Ultrasol ⁽³⁾ 15-30-15	1	1,06
Ultrasol 18-06-18	1	1,34
Ultrasol 25-10-25	1	1,33

(1). Dados obtidos nos folhetos de divulgação da empresa HYDRO, sendo que a CE foi determinada a 25° C.

(2) Dados obtidos nos folhetos de divulgação da empresa PLANT-PROD Fertilizer Guide for Horticulture & Agriculture, não constando a temperatura em que foi determinada a CE.

(3) Dados obtidos nos folhetos de divulgação da empresa SQM sendo que a CE foi determinada a 25° C.

A condutividade elétrica é o método mais simples de quantificar a quantidade total de sal na amostra e define a carga elétrica das partículas de sal existentes na água. Uma corrente elétrica é aplicada entre dois eletrodos que são inseridos na amostra de água e diretamente determina-se a condutividade elétrica na água, que aumenta à medida que aumentam os sais dissolvidos. Embora os condutivímetros sirvam para medir a condutividade elétrica da amostra de água, não há como qualificar os sais existentes dissolvidos na água de irrigação. A unidade que expressa a condutividade elétrica atualmente, é decisiemen por metro (dS/m) ou milimhos por centímetro (mmho/cm). $1 \text{ dS/m} = 1 \text{ mmho/cm}$.

A unidade parte por milhão (ppm), estabelece o peso de determinado produto dissolvido em determinado volume de dissolvente. $1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/litro}$. Para determinar cada constituinte individual de sal existente na amostra em ppm é necessário fazer a análise em separado de cada produto. A quantificação de cada constituinte torna-se mais difícil dessa forma que quando se mede utilizando a condutividade elétrica.

A unidade milequivalente por litro (meq/L) define a relação entre ppm por milequivalente (mg).

Na Tabela 4 são apresentados os constituintes comuns na água de irrigação com os respectivos pesos e carga elétrica.

TABELA 4. Constituintes comuns na água de irrigação com seus respectivos pesos e carga elétrica.

Elemento	Símbolo	Carga elétrica	Peso atômico (g)	Peso do milequivalente (mg)
Amônio	NH ₄	+1	17,0	17,0
Cálcio	Ca	+2	40,1	20,1
Hidrogênio	H	+1	1,0	1,0
Magnésio	Mg	+2	24,3	12,2
Sódio	Na	+1	23,0	23,0
Potássio	K	+1	39,1	39,1
Bicarbonato	HCO ₃	-1	61,0	61,0
Carbonato	CO ₃	-2	60,0	30,0
Nitrato	NO ₃	-1	62,0	62,0
Fosfato	PO ₄	-3	79,0	26,3
Sulfato	SO ₄	-2	96,1	48,1

Fonte: BURT et al. (1995).

As características da água de irrigação têm maior ou menor importância em função do tipo de irrigação utilizado e do modo de aplicação. A aplicação de água via aspersão limita a concentração de sais como sódio, cloro, boro e flúor na água, devido às injúrias que podem causar às folhas das plantas. Altas concentrações, no entanto, podem ser toleradas se as folhas são lavadas com água após a aplicação. Além disso, as condições de salinidade da água ou o excesso de fertilizantes nas folhagens das plantas pode ter efeito significativo na produção e produtividade das culturas, dependendo do nível de tolerância de cada espécie à salinidade.

Na Tabela 5 são apresentados os valores das características químicas e físicas de alguns componentes presentes na água utilizada via fertirrigação.

TABELA 5. Características químicas e físicas que devem ser consideradas na água utilizada via fertirrigação.

Análises	Nível de risco		
	Nenhum	Alto	Severo
pH	5,5-7,0	< 5,5 ou > 7,0	< 4,5 ou > 8,0
C. E. (dS/m)	0,5-0,75	0,75-3,0	> 3,0
Sólidos solúveis totais (ppm)	325-480	480-1920	> 1920
Bicarbonatos (ppm)	< 40	40-180	> 180
Sódio (ppm)	< 70	70-180	> 180
Cálcio (ppm)	20-100	100-200	> 200
Magnésio (ppm)	< 63	> 63	-
Boro (ppm)	< 0,5	0,5-2,0	> 2,0
Cloro (ppm)	< 70	70-300	> 300
Flúor (ppm)	< 0,25	0,25-1,0	> 1,0
Ferro (ppm)	< 0,20	0,20-0,40	> 0,40
Nitrogênio	< 5	5-30	> 30
RAS	< 3	3-6	> 6

Fonte: VITTI et al., (1994)

A influência da salinidade da água de irrigação sobre a tolerância de folhas e raízes tem sido estudada para algumas culturas (Tabela 6). O limiar de tolerância para água de irrigação salina é mais alto para o sistema radicular do que para as folhas de cucurbitáceas, tomate e pimentão; no entanto, para morango, as raízes são mais suscetíveis às condições de salinidade. A escolha de fertilizantes com menor potencial salino é uma das alternativas que se tem quando se determina, no solo, potencial salino próximo ao limite.

TABELA 6. Tolerância relativa de algumas culturas hortícolas à salinidade do solo (LORENZ & MAYNARD, 1988)

Cultura	Limite máximo da salinidade do solo sem registro de perdas de produtividade (dSm^{-1})*	Diminuição da produtividade acima do limite máximo da salinidade (% por dSm^{-1})
Sensíveis		
Cebola	1,2	16
Cenoura	1,0	14
Feijão	1,0	19
Morango	1,0	33
Moderadamente sensíveis		
Aipo	1,8	6
Alface	1,3	13
Batata	1,7	12
Batata doce	1,5	11
Brócolos	2,8	9
Couve	1,8	10
Espinafre	2,0	8
Fava	1,6	10
Milho doce	1,0	12
Nabo	0,9	9
Pepino	2,5	13
Pimentão	1,5	14
Rabanete	1,2	13
Tomate	2,5	10
Moderadamente tolerantes		
Abobrinha	4,7	9
Beterraba	4,0	9

* 1 decisiernen por metro (dSm^{-1}) = 1 mmho/cm = \pm 640 mg de sal/litro

6. Algumas Características dos Fertilizantes

As comparações agronômicas de vários fertilizantes aplicados de acordo com as recomendações técnicas podem indicar diferenças na sua eficiência. Quando se trata de aplicação de fertilizante via água de irrigação, principalmente nos sistemas de aplicação localizada, o conhecimento da movimentação e reação no solo das diferentes formas químicas, é de extrema importância.

6.1. Fertilizantes Nitrogenados

O nitrogênio contido nos fertilizantes pode se apresentar basicamente em 3 formas químicas que são: a amoniacal (NH_3 e NH_4^+), a nítrica (NO_3^-) e a orgânica. Entre as fontes orgânicas a única forma química usada em fertirrigação é a amídica (R-NH_2).

Segundo a forma química do nitrogênio pode-se separar os fertilizantes nitrogenados em:

Nítricos: Nitrato de cálcio - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; Nitrato de potássio - KNO_3 ; Salitre potássico - KNO_3 ; Salitre de sódio - NaNO_3 ;

Amoniacais: Soluções nitrogenadas - $\text{NH}_3\text{NH}_4\text{H}_2\text{O}$; DAP - $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$; MAP $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; Sulfato de amônio - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$;

Nítricos-amoniacais: Nitrato de amônio - NO_3NH_4 ; Nitrocálcio - $\text{NO}_3\text{NH}_4\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$;

Amídico: Uréia - $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$;

Nítrico-amoniacal-amídico: Solução de URAN - $\text{NO}_3\text{NH}_4\text{CO}(\text{NH}_2)_2$.

Efeito no pH

O caráter ácido ou básico dos fertilizantes pode ser devido à própria natureza química dos componentes, capazes de doar ou receberem prótons, ou ser consequência de reações secundárias, que ocorrem com os produtos de dissociação dos mesmos no solo e com a absorção de íons pelas raízes das plantas.

Os fertilizantes nitrogenados, em função da sua forma química, apresentam efeitos diferentes no pH do solo. O nitrogênio amoniacal após ser absorvido pela raiz ou sofrer oxidação biológica no processo de nitrificação, tem como resultado a acidificação do solo. A planta, para manter o equilíbrio elétrico ao absorver o nitrogênio na forma nítrica, libera na rizosfera hidroxilas e ácidos carbônicos que promovem alcalinização no solo. A hidrólise da uréia inicialmente alcaliniza o solo, uma vez que nessa reação ocorre a formação de NH_3 e, posteriormente, o acidifica através da nitrificação. Em solos levemente ácidos, a forma química amônia (NH_3) passa a amônio (NH_4^+) que irá se comportar em termos de reação no solo como um fertilizante amoniacal. A resultante dessas duas reações é ácida. Pode-se, portanto, concluir que as fontes nitrogenadas têm efeito alcalino ou ácido, conforme segue:

NO_3^- = efeito alcalino

NO_3NH_4 = efeito ácido

NH_4^+ = efeito ácido

URÉIA ($-\text{NH}_2$) = efeito ácido

A tabela 7 apresenta a característica de acidez e basicidade de alguns fertilizantes nitrogenados. O sulfato de amônio é o fertilizante com maior efeito ácido e são necessários, para que se neutralize o efeito de 100 kg de sulfato de amônio, 110kg de carbonato de cálcio puro. Nas adubações convencionais, nos quais fertilizantes sólidos são empregados, o efeito de acidificação pelo uso de uma fonte que tenha caráter ácido pode ser importante após alguns anos de sua utilização. No entanto, quando esses fertilizantes são aplicados via irrigação, principalmente no caso de gotejamento, onde o fertilizante se encontra na zona de molhamento que é um volume de solo restrito, o efeito de acidificação é intenso e pode promover o abaixamento do pH em um único ciclo da cultura, como pode ser visto na tabela 8. Assumindo, nesse caso, um raio de molhamento de 15 cm, cada aplicação de 12,5kg de nitrogênio equivale a:

- área molhada de um gotejador = 0,071 m²;
- 600 plantas/ha, 2 gotejadores/planta;
- área de um gotejador = 0,071 m² X 1200 gotejadores = 85,2 m²;
- 12500 gramas de uréia/ 85,2 m² = 146,7 g/m².

Se considerada a área de um hectare e o fertilizante aplicado em área total, resultaria o equivalente a 1467 kg de uréia.

TABELA 7. Características de acidez e basicidade de algumas fontes nitrogenadas (SHAW, 1961)

Fertilizante	Índice de acidez/basicidade
Uréia	+71
Sulfato de amônio	+110
Nitrato de amônio	+62
Amônia anidra	+147
MAP	+60
DAP	+88
Nitrocálcio	+26
Uran	Ácido
Nitrato de cálcio	-20
Salitre do Chile/Potássico	-29
Nitrato de potássio	-115

+ Quantidade em kg de CaCO₃ necessárias para neutralizar 100 kg do adubo
- Quantidade em kg de CaCO₃ "adicionadas" pela aplicação de 100 kg do adubo

TABELA 8. Efeito da fertirrigação com várias fontes de N, sobre o pH no perfil do solo logo abaixo do emissor (HAYNES, 1990)

Profundidade (cm)	Testemunha	Ca(NO ₃) ₂ 2L/h	(NH ₄) ₂ SO ₄ 2L/h	CO(NH ₂) ₂ 2L/h
0-5	5,8 B ¹	6,3 C	4,8 A	5,0 A
5-10	5,9 B	5,8 B	4,9 A	5,1 A
10-20	5,8 B	5,9 B	5,2 A	5,3 A
20-30	5,7 B	5,7 B	5,6 B	5,3 A
30-40	5,7 B	5,8 B	5,7 AB	5,5 A
40-50	5,7 A	5,7 A	5,7 A	5,6 A

1. As letras comparam o pH na mesma profundidade

Amônio

O cátion amônio, aplicado em baixa concentração, irá adsorver-se aos colóides do solo, movendo-se pouco no perfil em relação ao ponto de aplicação. Dependendo da taxa de aplicação, a concentração dos íons amônio pode ser alta e, neste caso, eles podem saturar os sítios de troca no solo ao longo do perfil e com isso mover-se gradativamente em profundidade.

Normalmente, a maior parte do amônio no solo será transformada biologicamente em nitrato, em 2 a 3 semanas, numa temperatura do solo de 25 a 30° C. No entanto, especificamente para aplicação localizada, essas transformações podem ser mais demoradas na zona logo abaixo do emissor devido à alta concentração de amônio e porque o processo de nitrificação necessita de O₂, elemento que nessas regiões ocorre em menor concentração em função de ser o local mais saturado em água. Concentrações de amônio próximas a 400 - 800 mg N/kg são suficientes para inibir a nitrificação.

Uréia

A molécula de uréia antes de se hidrolisar no solo não apresenta carga, o que a torna inicialmente móvel. Após a hidrólise e a formação de NH₄⁺ o movimento do N torna-se restrito. A conversão de uréia em amônio é dependente de uma série de fatores. Há resultados em que 50% da uréia foi convertida em NH₄⁺ com 3 horas após a aplicação (60 kg de N/ha). Nesse caso toda a uréia foi hidrolisada com 48 horas após a aplicação (FRENEY et al., 1985).

Nitrato

O nitrato move-se para a periferia da frente de molhamento. Embora as plantas absorvam prontamente o NO₃⁻, o NH₄⁺ e a uréia, respostas para NO₃⁻ são normalmente mais rápidas porque o nitrato é carregado pela água até a superfície da raiz via fluxo de massa.

No caso de excesso de água o nitrato será lixiviado abaixo da zona das raízes.

Perdas de nitrogênio

As fontes de nitrogênio estão sujeitas a perdas por lixiviação, volatilização e desnitrificação. Na lixiviação, o nitrato é carreado através da água de irrigação ou de chuva para regiões mais profundas do solo, longe do acesso das raízes. Dependendo da intensidade da água, o nitrato poderá alcançar o lençol freático, vindo a contaminar os mananciais de água.

Quando as condições são desfavoráveis, um outro potencial de perdas do N-NO_3^- é a desnitrificação. É importante evitar o encharcamento do solo, pois em condições de anaerobiose (falta de oxigênio), o nitrato será reduzido a dinitrogênio ou óxido nítrico difundindo para a atmosfera. Isto geralmente não é problema, exceto diretamente abaixo do emissor na irrigação por gotejamento. Como o nitrato normalmente se move para a frente de molhamento, a concentração desse íon logo abaixo do emissor é pequena.

O potencial de perdas de N por volatilização é variável, principalmente, com o pH da água e do solo. As fontes mais sujeitas a esse tipo de perda são as amoniacais e a uréia. Na tabela 9 são apresentadas as perdas de N por volatilização em função do pH.

TABELA 9. Efeito do pH na volatilização de amônia.

pH do solo /água	Potencial de N volatilizado (%)
7,2	1
8,2	10
9,2	50
10,2	90
11,2	99

Fonte: BURT et. al, 1995

Outros aspectos ligados ao nitrogênio

O nitrogênio aplicado via irrigação poderá ficar de forma residual dentro das tubulações. A presença de N nas mangueiras favorece o desenvolvimento microbiano, que poderá causar obstrução nos emissores. Para contornar o problema, basta lavar com a própria água de irrigação antes de finalizar a operação.

O balanço nitrato x amônio pode ter importância na absorção de outros íons. As plantas jovens (até 3 semanas) ainda não desenvolveram a nitrato redutase e por isso, preferencialmente, o amônio é a forma mais importante. Já no final do ciclo, a absorção de fonte amoniacal diminui a absorção de Ca, o que afeta a qualidade dos frutos.

6.2. Fertilizantes Fosfatados

No geral, a aplicação de fósforo através da irrigação por gotejamento não tem sido recomendada. A maioria dos fertilizantes fosfatados tem criado problemas de precipitação química ou física e, conseqüentemente, causam entupimento nos sistemas de irrigação. Quando se aplicam fontes inorgânicas de fósforo existe um alto risco de precipitação de fosfatos, como fosfato tricálcico, se as águas contiverem Ca e o pH for superior a 6,5. Portanto, deve haver critério na escolha da fonte e sua concentração na água de irrigação.

Se a água é ácida não há limitação para o uso do DAP, porém, caso haja Ca e o pH for superior a 7 deve-se utilizar o MAP, que tem efeito acidificante, o que leva a um abaixamento do pH. Outra possibilidade é o uso do ácido fosfórico concentrado. A quantidade aplicada deve ser suficiente para abaixar o pH, porém, há um limite para que não produza corrosão em peças metálicas da rede.

Movimentação de fósforo no solo

A taxa de fixação de P no solo é alta, e, consequentemente, o seu movimento no solo é limitado. No entanto, várias fontes e métodos de aplicação de fósforo tentam evitar, pelo menos parcialmente, os problemas de distribuição desse elemento no solo. Além do custo, as fontes inorgânicas de P têm diferenças quanto ao conteúdo de P e também quanto à solubilidade na água de irrigação.

Embora o movimento de P dependa de muitos fatores químicos e físicos do solo, a textura, a taxa de aplicação e a quantidade de água aplicada são as variáveis que mais afetam o seu movimento.

A irrigação por gotejamento pode aumentar o movimento de P no solo de 5 a 10 vezes se comparado à aplicação convencional. O movimento é maior desta forma porque uma maior concentração, em uma faixa estreita do solo, satura os sítios de fixação próximos ao ponto de aplicação. O movimento de P no solo aumenta com a taxa de aplicação e também com o raio de molhamento (figuras 2 e 3). Os dados mostram que o P caminhou no solo quando aplicado em doses elevadas, vencendo a capacidade de fixação do solo. Não somente o P se movimentou mais facilmente com o aumento da taxa, como também manteve uma alta concentração na zona das raízes depois de 3 meses (RAUSCHKOLB et al., 1976).

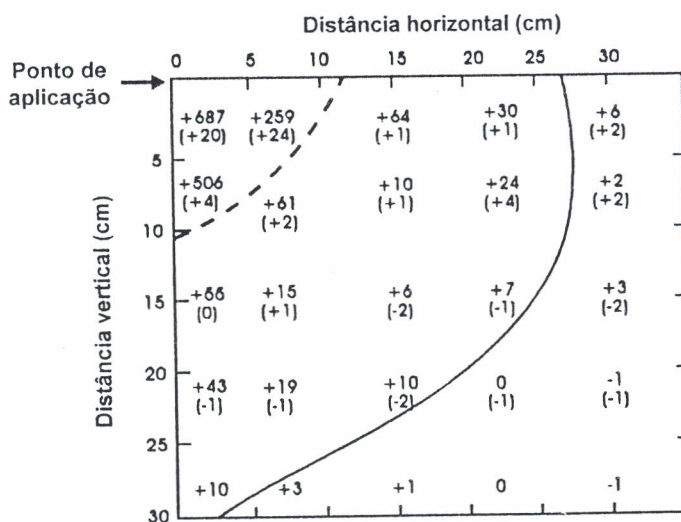


FIGURA 2. Influência da taxa de aplicação de ortofosfato sobre a distribuição por um emissor em solo. Linha quebrada e sólida são o máximo movimento de fósforo para 6,5 (entre parênteses) e 39 kg de P/ha aplicados, respectivamente.

Quanto ao tipo de solo (figura 4), o fósforo aplicado como polifosfato de amônio via aspersão movimentou-se até 18 cm num solo arenoso, no entanto, um pequeno caminhar ocorreu num solo argiloso.

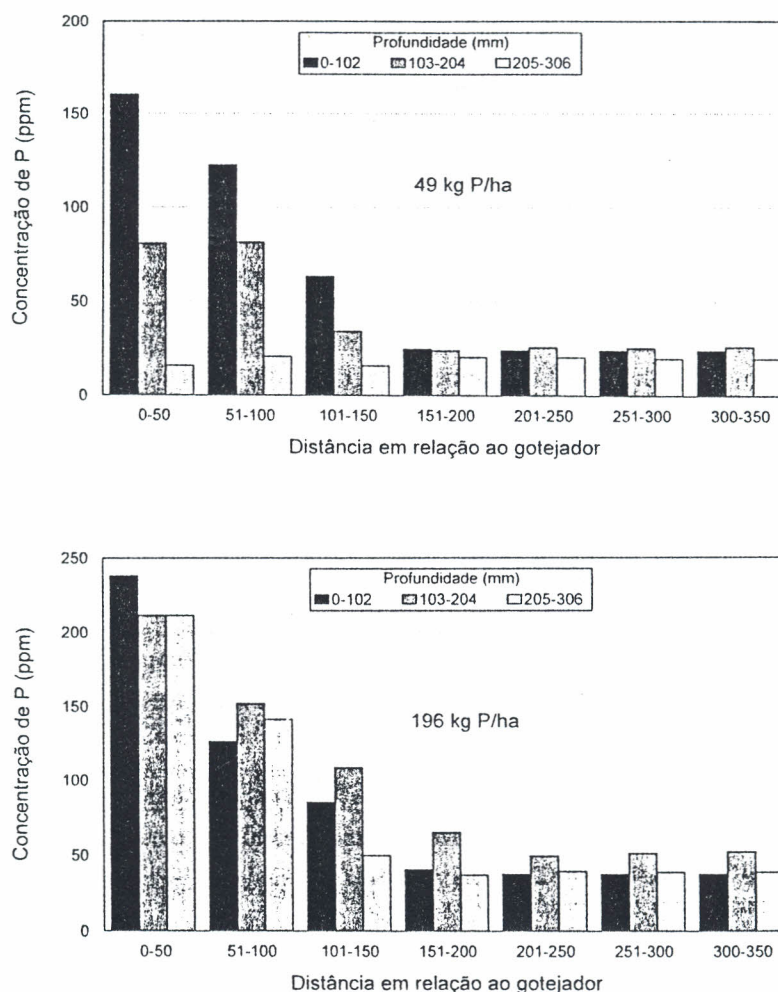


FIGURA 3. Distribuição do fósforo no solo decorrente da aplicação de diferentes doses de MAP Adaptado de Miller et al. citado por ROLSTON et al. (1986).

Outras informações sobre as fontes de fósforo

O fósforo + amônia + Mg formam fosfatos de amônio e magnésio insolúveis em água. A mistura fósforo + ferro formam produtos insolúveis e o ácido fosfórico claro é mais puro que o verde.

6.3. Fertilizantes Potássicos

As fontes mais comuns de K são cloreto, nitrato e sulfato de potássio. Dentre essas, o cloreto é a fonte mais utilizada por ser a mais barata por unidade de K_2O . Em cultivos que

necessitam de enxofre, o sulfato de potássio pode ser a melhor escolha, inclusive porque é a fonte de K que apresenta o mais baixo potencial salino por unidade de K_2O , no entanto, entre as fontes citadas é a que apresenta mais baixa solubilidade. O nitrato de potássio tem sido utilizado por apresentar alta solubilidade e potencial salino intermediário entre as fontes de K.

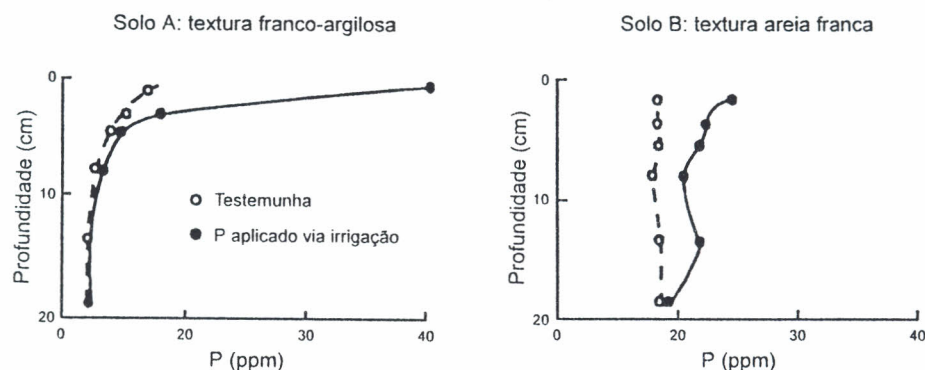


FIGURA 4. Distribuição do fósforo aplicado como fosfato de amônio via fertirrigação (HERGERT & REUSS, 1976).

O movimento de potássio no solo depende do tipo de solo e na maioria dos casos se move com limitação. O potássio pode ser lixiviado em solos arenosos e com baixa CTC, porém, quando se aplicam doses normais de fertilizantes, perdas por lixiviação são extremamente baixas para a maioria das condições. O K pode movimentar-se no perfil do solo quando ocorrer concentração do elemento próximo ao emissor de saída.

Em fertirrigação, para culturas hortícolas, o potássio normalmente é aplicado, procurando-se evitar o acúmulo desse nutriente no solo.

Em relação à compatibilidade, deve-se tomar cuidado com misturas de fontes contendo potássio com a solução de urân. Antes da mistura nos tanques deve-se fazer o "teste da jarra". A mistura de cloreto de potássio com outra fonte contendo sulfato poderá diminuir a solubilidade do K, pois poderá haver formação de K_2SO_4 que apresenta solubilidade 3 vezes menor que o KCl.

6.4. Fertilizantes Contendo Cálcio, Magnésio e Enxofre

A aplicação de cálcio, via irrigação, é perigosa pelo alto risco de provocar precipitações, por isso deve-se restringir o seu uso o máximo possível. O nitrato de cálcio é a fonte de Ca mais solúvel, podendo ser usado, também, o cloreto de cálcio e as formas quelatizadas. No caso do uso de nitrato de cálcio, recomenda-se adicionar ácido nítrico concentrado na base de 0,3 litros por quilo de nitrato de cálcio quando o pH da água de irrigação for superior a 6,5.

Dos produtos que apresentam magnésio normalmente se utiliza o sulfato como fonte de magnésio, dada a sua boa solubilidade. As formas quelatizadas de Mg, apesar de ter um custo mais elevado, são boas alternativas. Como regra geral, tanto o cálcio como o magnésio devem

ser aplicados antes do plantio, através da calagem, e apenas complementados através da fertirrigação.

Como fonte de enxofre pode-se utilizar o sulfato de amônio. Outras fontes como sulfato de potássio e de magnésio também são utilizadas. Porém, deve-se tomar cuidado com a incompatibilidade do sulfato com o cálcio.

6.5. Fertilizantes Contendo Micronutrientes

Os quelatos e os sulfatos contendo micronutrientes são os compostos geralmente utilizados para corrigir deficiência de micronutrientes. Micronutrientes como o Zn, Fe, Cu e Mn podem reagir com sais da água de irrigação e causar precipitação e entupimento. Por isso, em muitos casos, esses micronutrientes são aplicados como quelatos, que são facilmente solúveis e causam poucos problemas de precipitação e entupimento. Pode, no entanto, haver incompatibilidade de nitrato de amônio e cálcio com os quelatos.

No solo, os micronutrientes quelatizados reagem menos e por isso apresentam maior mobilidade do que os sais.

Em termos de aplicação via irrigação recomenda-se doses pequenas de micronutrientes em irrigação localizada, pois o volume de solo irrigado é pequeno e as dosagens convencionais podem ser fitotóxicas. No caso do boro, em função da facilidade de lixiviação que esse nutriente apresenta, o parcelamento é a prática mais recomendada.

7. Bibliografia

- BURT, C.; O'CONNOR, K; RUEHR, T. Fertirrigation. The irrigation training Reserch Center California Polytechnic State University. San Luis Obispo. 1995. 320 p.
- FRENEY, J.R. SIMPSON, J.R. DENMEAD, O.T., MUIRHEAD, W.A, LEUNING R. Transformation and transfers of nitrogen after irrigating a cracking clay soil with a urea. Aust. J. Agric. Res. 36: 685-694, 1985.
- HAYNES R.J. Movement and transformations of fertigated nitrogen below trickle emitters and their effects on pH in the wetted soil volume. Fert. Res., 23: 105-112, 1990.
- HERGERT, G.W., REUSS, J.O. Sprinkler application of P and Zn fertilizers. Agron. J., 68: 5-8, 1976.
- LANDIS, T.D. Mineral nutrients and fertirrigation. In: LANDIS, T.D., TINUS,R.W., McDONALD, S.E., BARNETT J.P. The container tree nursery manual, 4. Agric. Handbk.674. Washington, D.C.: Department of Agriculture, Forest Service. 1989, 1-67.
- LORENS, O.A. & MAYNARD, D.N. Knott's Handbook for vegetables growers. 3a ed. John Wiley & Sons, N. Y., 456p. 1988.
- RAUSCHKOLB, R.S. ROLSTON, D.E., MILLER, R.J., et al. Phosphorus fertilization with drip irrigation. Soil Sci. Soc. Amer. J. 40: p.68-71, 1976.

ROLSTON, DE., MILLER, R.J., SCHULBACH, H. Management principles In: NAKAYAMA, ES. & BUCKS, D.E. ed. Developments in agricultural engineers, Berkeley, 1986.

SHAW, E. J. Western fertilizer handbook, Sacramento, California Fertilizer Assoc. 1961, p. 163.

VILLAS BOAS, R. L., BULL, L. T., FERNANDES, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. coord. Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999, p. 293-319.

VITTI, G.C. BOARETTO, A.E., PENTEADO, S.R. Fertilizantes e Fertirrigação In: VITTI, G.C., BOARETTO, A.E. ed. Fertilizantes Fluidos. Piracicaba: POTAFÓS, 1994, p.283-308.

WINTER, E.J. El agua, el suelo y la planta. Mexico: Diana. 1979, 221p.